

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ В РСА НА ФОНЕ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ

Доросинский Л.Г.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 19, ул. Мира, Екатеринбург, 620002, Россия тел.: +73433754145, e-mail: L.Dorosinsky@mail.ru

Аннотация - Предложен алгоритм обнаружения многоэлементной цели на фоне структурно подобной помехи и методика его анализа

SIGNAL ACQUISITION IN RSA AGAINST THE BACKGROUND RETURNS

Dorosinsky L.G.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 19, Mira sq., Ekaterinburg, 620002, Russia Ph.: +73433754145, e-mail: L.Dorosinsky@mail.ru

Abstract - The algorithm of multiple-unit target acquisition against the multiple-unit disturbance and analysis' method of its efficiency have been presented..

I. Введение

В работе [1], посвящённой проблемам обработки сигналов в радиолокационной станции с синтезированной апертурой (РСА), основное внимание уделялось исследованию алгоритмов обнаружения при действии помех, вызванных отражениями от подстилающей поверхности и шумом. В ряде практических ситуаций вместе с полезным сигналом, отраженным от

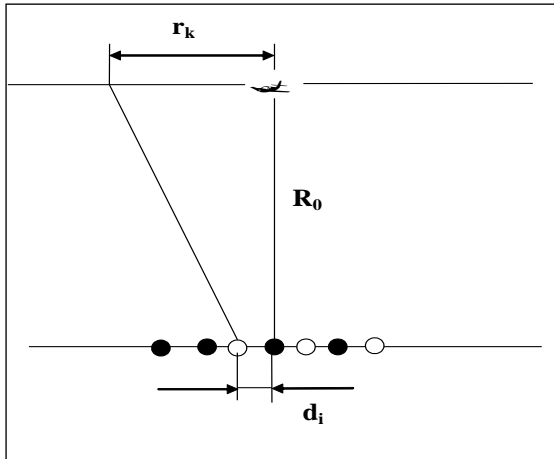


Рис.1. Геометрия задачи
Fig.1. Task geometry

отражениями от мешающих объектов, в этих случаях алгоритм обработки должен строиться с учётом как распределённого характера цели, так и наличия помех. Определение основных принципов построения таких алгоритмов и методов их анализа составляет содержание данной работы.

II. Основная часть

Предположим, что РЛС бокового обзора перемещается по прямолинейной траектории. Полезные и мешающие сигналы в одном элементе разрешения по дальности формируются отдельными отражателями, отстоящими на расстояниях d_i^c ($i = \overline{1, n}$) и d_i^n ($i = \overline{1, N}$) от начала координат, причём n и N – числа соответственно сигнальных и помеховых отражателей (рис. 1). При дискретной во времени обработке вектор наблюдаемых данных может быть представлен в следующем виде:

$$Y = \beta_c A_c + \beta_n A_n + N_{\text{ш}}, \quad (1)$$

где

$$\beta_c = \|X(d_1^c), \dots, X(d_n^c)\| \quad (2)$$

- матрица ($M \times n$), состоящая из векторов

$$X(d_i^c) = \left\| \exp(j \frac{2\pi}{\lambda R_0} r_k^2 - j \frac{4\pi}{\lambda R_0} d_i^c r_k) \right\|,$$

задающих фазовое распределение сигнала, отражённого от i -го элемента цели, по точкам синтезированной апертуры, имеющим координаты r_k , $k = \overline{1, M}$ (λ - длина волны); A_c и A_n – векторы ($n \times 1$) и ($N \times 1$) комплексных амплитуд сигналов (помех), представляющие собой нормальные случайные величины с нулевыми математическими ожиданиями и дисперсиями σ_{ci}^2 и σ_{ni}^2 соответственно; матрица β_n определяется аналогично (2) и (3), $N_{\text{ш}}$ – вектор комплексных амплитуд гауссовского шума.

При записи наблюдаемых данных в виде (1) достаточной статистикой для обнаружения полезного сигнала является квадратичная форма

$$\alpha = Y^{*T} \theta Y, \quad (4)$$

где $\theta = R_n^{-1} - R_{\text{CP}}^{-1}$ - весовая функция обработки,

$$R_{\text{CP}} = \beta_c Q_c \beta_c^{*T} + R_n \quad (5)$$

$$R_n = \beta_n Q_n \beta_n^{*T} + R_{\text{ш}} \quad (6)$$

корреляционные матрицы вектора (1) при наличии и отсутствии полезного сигнала

$$Q_c = \text{diag}(\sigma_{c1}^2, \dots, \sigma_{cn}^2) \quad (7)$$

$$Q_n = \text{diag}(\sigma_{n1}^2, \dots, \sigma_{nN}^2) \quad (8)$$

где $*$ - комплексное сопряжение, T - знак транспонирования, E - единичная матрица, без ограничения общности в дальнейшем считаем дисперсию шума $\sigma_{\text{ш}}^2 = 1$.

Используя равенство Вудбери для определения оптимальной весовой функции, запишем выражение достаточной статистики в виде

$$\alpha = Z^{*T} P Z, \quad (9)$$

где

$$P = (E + Q_c \beta_c^{*T} R_n^{-1} \beta_c)^{-1} Q_c, \quad (10)$$

$$R_n^{-1} = E - \beta_n (E + Q_n \beta_n^{*T} \beta_n)^{-1} Q_n \beta_n^{*T}, \quad (11)$$

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Y}^T \mathbf{R}_n^{-1} \beta_c^* = \mathbf{Y}^T \mathbf{X}^* (\mathbf{d}_i^c) - \sum_{l=1}^N \chi_{li} \mathbf{Y}^T \mathbf{X}^* (\mathbf{d}_i^n) \quad (12)$$

$$\chi_{li} = \sum_{t=1}^n \mathbf{p}_{lt} \mathbf{X}^T (\mathbf{d}_t^n) \mathbf{X}^* (\mathbf{d}_i^n) \quad (13)$$

\mathbf{p}_{lt} - элемент матрицы 11.

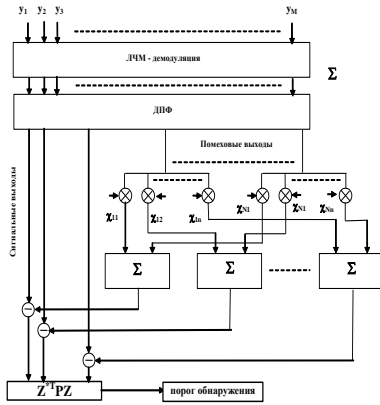


Рис. 2. Блок-схема оптимального алгоритма
Fig. 2. Optimal algorithm flowchart

Структурная схема, реализующая оптимальный алгоритм (10), показана на рис. 2.

Основная функциональная операция, входящая в (12):

$$\mathbf{Y}^T \mathbf{X}^* (\mathbf{d}_i) = \sum_{k=1}^M y_k \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda R_0} r_k^2 + \frac{4\pi}{\lambda R_0} \mathbf{d}_i \mathbf{r}_k)$$

представляет собой ЛЧМ-демодуляцию и ДПФ, вычисляемое для пространственных частот $(2/\lambda R_0) \mathbf{d}_i$, соответствующих всем элементам цели (помех).

Для оценки эффективности рассматриваемого алгоритма использована методика, основанная на использовании границ Чернова [3].

В соответствие с названной методикой рассчитаны характеристики обнаружения многоэлементной цели ($n=5$) на фоне многоэлементной помехи ($N=5$). Каждая из представленных четырёх характеристик обнаружения (рис.3) соответствует помеховой ситуации, показанной на рис. 4, где указано взаимное угловое расположение цели и помехи в долях нормированной координаты (ситуация 1 наихудшая, ей соответствует правая характеристика, ситуация 1 наилучшая – левая характеристика)

$$\mu = \frac{L}{\lambda} \sin \theta,$$

где L - длина участка когерентного накопления, λ - длина волны, $\theta = \arctg(d/R_0)$ - угловое направление на источник сигнала или помехи. Число когерентно суммируемых импульсов 8, количество некогерентно суммируемых участков 21. По оси абсцисс отложено

отношение сигнал/помеха $q = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_n^2}$.

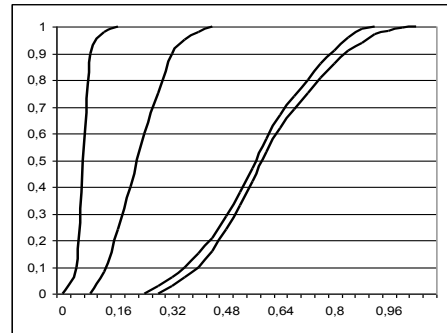


Рис. 3. Характеристики обнаружения
Fig. 3. Detection characteristics

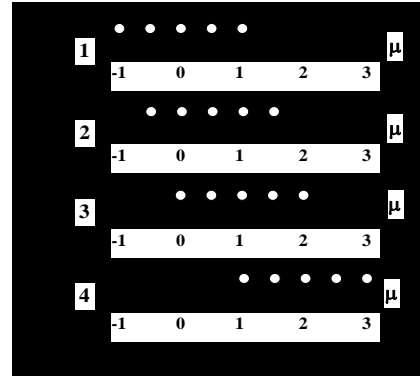


Рис. 4 Расположение источников сигналов и помех
Fig. 4. Signal and noise source location

III. Заключение

Из представленных кривых следует, что даже при попадании как цели, так и помехи в главный лепесток синтезированной ДН ($\mu < 1$) вероятность правильного обнаружения $P_D > 0.9$ при $q < 1$. При расположении элементов источника помехи в пределах двух первых лепестков ДН (кривая 4) $P_D > 0.9$ при $q < 0.1$, что свидетельствует о высокой эффективности оптимальной обработки.

IV Литература

- [5] G.S. Kondratenkov, V.A. Potekhin, A.P. Reutov, Y.A. Feoktistov. Earth observation radar stations. Moscow, Radio and telecommunications, 1983.
- [6] Y.D. Shirman, V.I. Manghos. Radar information processing theory and techniques in the view of noise. Moscow, Radio and telecommunications, 1981.
- [7] G. van Tree. Detection, evaluation and modulation theory. Moscow, Sov. Radio, 1979, vol.1.